

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра физической и коллоидной химии

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

Вопросы и задачи
для самостоятельной работы и контроля текущих знаний
студентов специальностей 1-47 02 01, 1-48 01 01, 1-48 01 02,
1-48 01 04, 1-48 01 05, 1-48 02 01,
1-54 01 03, 1-57 01 01, 1-57 01 03

Минск 2004

УДК 541.18

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составители: Эмелло Г.Г., Шичкова Т.А.,
Крисько Л.Я., Клындюк А.И.
Рецензент доцент кафедры химической
переработки древесины БГТУ, канд. техн. наук
Черная Н.В.

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2003 год. Поз. 51.

Для студентов специальностей

- 1-47 02 01 «Технология полиграфических производств»
- 1-48 01 01 «Химическая технология производства и переработки неорганических материалов»
- 1-48 01 02 «Химическая технология производства и переработки органических материалов»
- 1-48 01 04 «Технология электрохимических производств»
- 1-48 01 05 «Химическая технология переработки древесины»
- 1-48 02 01 «Биотехнология»
- 1-54 01 03 «Физико-химические методы и приборы контроля качества продукции»
- 1-57 01 01 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов»
- 1-57 01 03 «Биоэкология»

© Учреждение образования
«Белорусский государственный
технологический университет»,
2004

© Эмелло Г.Г., Шичкова Т.А.,
Крисько Л.Я., Клындюк А.И.,
составление, 2004

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

Авторы: Эмелло Галина Геннадьевна, Шичкова Татьяна Александровна,
Крисько Любовь Яковлевна, Клындюк Андрей Иванович

Редактор Т.Е. Самсанович.

Подписано в печать 4.01.2004. Формат 60 x 84 ¹/₁₆.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,0. Усл. кр.-отт. 2,0. Уч.-изд. л. 1,7.

Тираж 300 экз. Заказ

Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет».

220050. Минск, Свердлова 13а. Лицензия ЛВ № 276 от 15.04.2003.

Отпечатано на ротапринте УО «Белорусский государственный
технологический университет». 220050. Минск, Свердлова, 13.

ВВЕДЕНИЕ

«Поверхностные явления и дисперсные системы» — одна из важнейших дисциплин, которые изучаются студентами химико-технологических вузов. В этом курсе, и это видно из названия, условно можно выделить два раздела: учение о поверхностных явлениях, где основное внимание уделяется строению и свойствам поверхностного слоя, и учение о дисперсных системах, в котором рассматриваются способы получения, устойчивость и свойства различных дисперсных систем [1–3]. Практически нет такого производства, тем более химического, где бы не имели дело с дисперсными, т. е. с гетерогенными системами, поведение которых обусловлено степенью дисперсности (раздробленности) и отличается большим разнообразием явлений, происходящих на границе раздела фаз. Поэтому данная дисциплина является одной из фундаментальных основ химической технологии. Будущий специалист с квалификацией «инженер-химик-технолог» должен иметь представление о классах дисперсных систем, способах их получения, стабилизации и разрушения, о видах поверхностных явлений, причинах и закономерностях их протекания. Одной из важнейших задач курса является научить будущего специалиста применять теоретические знания для практических целей: выполнять физико-химические расчеты с использованием справочной литературы и на научной основе организовывать свой труд.

В методических указаниях представлены вопросы и задачи по наиболее важным темам изучаемого курса: адсорбция на границах раздела фаз, адгезия, смачивание, капиллярные и электрокинетические явления, а также способы получения гидрозолей и свойства некоторых дисперсных систем. Решение приведенных задач поможет лучше разобраться в сложных физико-химических закономерностях протекания поверхностных явлений, а также лучше представить то разнообразие дисперсных систем, с которыми придется иметь дело будущим технологам. Выполнение конкретных расчетов научит оперировать экспериментальными данными, правильно учитывать их размерности и делать соответствующие выводы при получении результатов.

Данное пособие предназначено для самостоятельной работы студентов и должно способствовать усвоению теоретического материала по курсу «Поверхностные явления и дисперсные системы», который закладывает основы знаний для последующего изучения специальных технологических дисциплин.

1. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

1.1. Поверхностная энергия. Поверхностное натяжение. Поверхностная активность

1. Пояснить смысл понятий «поверхностная энергия» и «поверхностное натяжение». От чего и как зависит поверхностное натяжение (σ_0) чистых веществ (жидкостей)? Изобразить графически зависимость поверхностного натяжения раствора (σ) от его концентрации для веществ различной природы ($T = \text{const}$).
2. Сферические капли воды (дисперсная фаза тумана) имеют дисперсность $D = 60 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$ и массу, равную 0.010 кг. Плотность воды $\rho_0 = 0.998 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, поверхностное натяжение воды $\sigma_0 = 72.75 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ при $T = 293 \text{ К}$. Определить количество капель воды, их поверхностную энергию Гиббса (G^S).
3. Массовая доля бензола в прямой эмульсии «бензол – вода» $\omega = 40 \text{ мас. \%}$. Дисперсность эмульсии $D = 3 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$. Плотность бензола $\rho = 0.879 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, межфазное поверхностное натяжение на границе раздела фаз «бензол – вода» $\sigma = 34.4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ при $T = 293 \text{ К}$. Определить количество сферических капель бензола, содержащихся в 0.010 кг данной эмульсии, и их поверхностную энергию Гиббса (G^S).
4. Эмульсия хлороформа в воде получена путем медленного добавления $2 \cdot 10^{-3} \text{ л}$ хлороформа к 0.3 л воды при интенсивном перемешивании (метод диспергирования). Плотность хлороформа $\rho = 1.489 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ при $T = 293 \text{ К}$, межфазное поверхностное натяжение на границе раздела фаз «хлороформ – вода» $\sigma = 33.8 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$. Поверхностная энергия Гиббса капель хлороформа в полученной эмульсии $G^S = 0.2 \text{ Дж}$. Определить радиус (r) сферических капель хлороформа данной эмульсии.
5. В 0.3 кг прямой эмульсии «анилин – вода» содержится $5 \cdot 10^{12}$ сферических капель анилина с радиусом $r = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Плотность анилина $\rho = 1.022 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, межфазное поверхностное натяжение на границе раздела фаз «анилин – вода» $\sigma = 4.8 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ при $T = 293 \text{ К}$. Определить массовую долю анилина (ω , мас. %) в дан-

ной эмульсии и поверхностную энергию Гиббса (G^S) капле анилина в ней.

6. Зависимость поверхностного натяжения водного раствора масляной кислоты C_3H_7COOH от его концентрации описывается уравнением Шишковского. Константы этого уравнения при $T = 283\text{ K}$ имеют следующие значения: $B = 19.5 \cdot 10^{-3}\text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}$, $A = 14.7\text{ л}\cdot\text{моль}^{-1}$. Используя уравнение Шишковского, рассчитать σ водных растворов C_3H_7COOH для следующих концентраций: $c = 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5\text{ моль}\cdot\text{л}^{-1}$ и построить изотерму поверхностного натяжения $\sigma = f(c)$. Поверхностное натяжение воды $\sigma_0 = 74.22 \cdot 10^{-3}\text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}$ при $T = 283\text{ K}$.
7. Поверхностное натяжение 0.01 M раствора пентанола $C_5H_{11}OH$ $\sigma = 64.86 \cdot 10^{-3}\text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}$ при $T = 293\text{ K}$. Поверхностное натяжение воды при этой температуре $\sigma_0 = 72.75 \cdot 10^{-3}\text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}$. Площадь, приходящаяся на одну молекулу $C_5H_{11}OH$ в насыщенном адсорбционном монослое, $S_0 = 30 \cdot 10^{-20}\text{ м}^2$. Используя величины σ , σ_0 и S_0 , определить константы A и B уравнения Шишковского.
8. Что такое поверхностная активность g ? Графический метод ее определения.
9. Поверхностная активность вещества A больше, чем поверхностная активность вещества B , в 3.2^3 раза. Написать формулу вещества B , если формула A : $CH_3-(CH_2)_6-COOH$.
10. Константы уравнения Шишковского, описывающего зависимость поверхностного натяжения водного раствора n -валериановой кислоты C_4H_9COOH от концентрации, соответственно равны: $B = 19.5 \cdot 10^{-3}\text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}$, $A = 46.6\text{ л}\cdot\text{моль}^{-1}$ ($T = 298\text{ K}$). Определить поверхностную активность (g) C_4H_9COOH в водном растворе и площадь (S_0), приходящуюся на одну молекулу C_4H_9COOH в насыщенном адсорбционном монослое, используя величины констант A и B .
11. Поверхностная активность n -валериановой кислоты C_4H_9COOH в водном растворе $g = 0.91\text{ Дж}\cdot\text{л}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$ при $T = 298\text{ K}$. Площадь, приходящаяся на одну молекулу C_4H_9COOH в насыщенном адсорбционном слое, $S_0 = 20.0 \cdot 10^{-20}\text{ м}^2$. Используя величины S_0 и g , определить константы A и B уравнения Шишковского.
12. Поверхностная активность масляной кислоты C_3H_7COOH в водном растворе $g = 0.29\text{ Дж}\cdot\text{л}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$ при 283 K . Площадь, прихо-

дящаяся на одну молекулу C_3H_7COOH в насыщенном адсорбционном слое, $S_0 = 20 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$. Используя величины S_0 и g , определить константы A и B уравнения Шишковского. По уравнению Шишковского рассчитать поверхностное натяжение водного 0.1 М раствора C_3H_7COOH . Поверхностное натяжение воды $\sigma_0 = 74.22 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ при $T = 283 \text{ К}$.

13. Поверхностные активности (g) n -валериановой C_4H_9COOH и капроновой $C_5H_{11}COOH$ кислот в водных растворах при $T = 298 \text{ К}$ соответственно равны 0.91 и 2.9 $\text{Дж} \cdot \text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$. Площадь, приходящаяся на одну молекулу кислоты в насыщенном адсорбционном слое, $S_0 = 20 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$. Используя величины S_0 и g , определить константы A и B уравнения Шишковского для каждой кислоты. Сравнить полученные значения констант A и B для обеих кислот и сделать соответствующие выводы.

1.2. Мономолекулярная адсорбция на границе раздела «жидкость – газ»

1. Чем объяснить практическое применение адсорбционного уравнения Гиббса для вычисления адсорбции только на границе раздела «жидкость – газ»? Зависит ли величина гиббсовской адсорбции (Γ) от единиц измерения концентрации раствора адсорбата (c)?
2. Изобразить на одном рисунке вид изотерм гиббсовской адсорбции для следующих ПАВ: C_2H_5OH , C_3H_7OH , $C_5H_{11}OH$. Объяснить их относительное расположение.
3. Получены экспериментальные данные зависимости поверхностного натяжения σ от концентрации c водного раствора масляной кислоты C_3H_7COOH при 304 К:

$c, \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$	0.000	0.018	0.048	0.102	0.242
$\sigma \cdot 10^3, \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$	72.53	68.12	62.53	56.25	51.40

Определить графическим методом поверхностную активность кислоты (g) при этой температуре и рассчитать адсорбцию по Гиббсу (Γ) при $c = 0.030 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$.

4. Используя интегральный способ вычисления производной $\frac{d\sigma}{dc}$, определить гиббсовскую адсорбцию (Γ) в $\text{кмоль}\cdot\text{м}^{-2}$ для двух водных растворов фенола при 20°C на основании приведенных данных:

$c, \text{кмоль}\cdot\text{м}^{-3}$	0.0156	0.0625
$\sigma\cdot 10^3, \text{Дж}\cdot\text{м}^{-2}$	58.20	43.30

Поверхностное натяжение растворителя (чистой воды) при этой температуре $\sigma_0 = 72.75\cdot 10^{-3} \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}$.

- Определить, достигается ли предельная адсорбция (a_∞) в случае, если $0.25\cdot 10^{-3} \text{ г}$ $\text{C}_7\text{H}_{15}\text{OH}$ равномерно распределяются по поверхности водного раствора площадью $S = 0.7 \text{ м}^2$. Площадь, занимаемая молекулой спирта на поверхности, $S_0 = 30 \text{ \AA}^2$.
- Рассчитать гиббсовскую адсорбцию (Γ) в $\text{моль}\cdot\text{м}^{-2}$ при 15°C для водного раствора, содержащего $29 \text{ г}\cdot\text{л}^{-1}$ ацетона CH_3COCH_3 , если поверхностное натяжение раствора $\sigma = 59.4\cdot 10^{-3} \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}$, а чистой воды $\sigma_0 = 73.49\cdot 10^{-3} \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}$.
- Сколько граммов (m) лаурата натрия $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{10}-\text{COONa}$ может в предельном случае в виде мономолекулярного слоя покрыть поверхность водного раствора с площадью 0.5 м^2 ? Площадь, занимаемая молекулой этого ПАВ на поверхности, $S_0 = 41 \text{ \AA}^2$.
- Рассчитать площадь (S_0), которую занимает молекула $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{OH}$ на поверхности водного раствора, если известно, что в предельном случае на 180 м^2 в виде мономолекулярного слоя могут распределиться 0.228 г этого ПАВ.
- На поверхность воды было нанесено 0.0061 г олеиновой кислоты $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$, растворенной в бензоле C_6H_6 . После испарения бензола олеиновая кислота равномерно распределилась по поверхности воды. Площадь поверхности мономолекулярного слоя кислоты составила $3.61\cdot 10^4 \text{ см}^2$. Определить площадь (S_0), занимаемую молекулой олеиновой кислоты на поверхности.
- Вычислить величину гиббсовской адсорбции (Γ) для раствора NaOH с массовой долей $\omega = 20 \text{ мас. \%}$ при 20°C , если поверхност-

ное натяжение этого раствора $\sigma = 85.8 \cdot 10^{-3}$ Дж·м⁻², чистой воды $\sigma_0 = 72.75 \cdot 10^{-3}$ Дж·м⁻², а плотность раствора $\rho = 1.219$ г·см⁻³.

11. Сколько моль C_3H_7OH сможет в предельном случае (при образовании мономолекулярного слоя) покрыть поверхность водного раствора с площадью 0.02 м²? Площадь, занимаемая молекулой спирта на поверхности, $S_0 = 30$ Å².

1.3. Мономолекулярная адсорбция на твердых адсорбентах

1. Рассчитать, какой из адсорбентов имеет большую величину удельной поверхности ($S_{уд}$): а) уголь с радиусом частиц $r = 10^{-2}$ см; б) глина с диаметром частиц $d = 10^{-5}$ м?
2. Какой из адсорбентов лучше взять – силикагель или уголь, – чтобы очистить водный раствор от примесей C_4H_9OH ? (Для объяснения использовать правило уравнивания полярностей Ребиндера.)
3. Рассчитать величину молекулярной адсорбции по Лэнгмюру (a) уксусной кислоты, если к 200 мл 0.125 М раствора кислоты добавили 4 г адсорбента, а после установления адсорбционного равновесия концентрация кислоты оказалась равной 0.09 моль·л⁻¹.
4. Получена экспериментальная зависимость величины адсорбции (a) пропилового спирта из водного раствора на активированном угле от величины равновесной концентрации (c) этого раствора:

$c \cdot 10^3$, моль·л ⁻¹	2.00	1.00	0.67	0.50	0.40
a , моль·кг ⁻¹	1.18	0.95	0.83	0.74	0.67

Графическим методом определить константы уравнения Лэнгмюра a_∞ и K .

5. Определить удельную поверхность адсорбента ($S_{уд}$), если известно, что 10 г его адсорбируют в виде мономолекулярного слоя 0.074 г бутанола C_4H_9OH из водного раствора. Площадь, занимаемая молекулой бутанола на поверхности адсорбента, $S_0 = 30$ Å² (1 Å = 10^{-10} м).
6. Сколько граммов (m) силикагеля нужно взять для адсорбции 3.6 г паров H_2O из воздуха (при условии заполнения поверхности мономолекулярным слоем)? Известно, что удельная поверхность си-

ликагеля $S_{уд} = 200 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$, а площадь, занимаемая молекулой воды в поверхностном слое, $S_0 = 20 \text{ Å}^2$.

7. Рассчитать количество граммов SO_2 (m_{SO_2}), которое может быть извлечено из газовой смеси адсорбентом, масса которого составляет 100 г, средний радиус частиц $r = 10^{-6} \text{ м}$, а плотность $\rho = 1.9 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Площадь, занимаемая молекулой SO_2 на поверхности адсорбента, $S_0 = 27 \text{ Å}^2$.
8. Вычислить площадь (S_0), которую занимает молекула воды на поверхности твердого адсорбента при условии предельного заполнения его поверхности мономолекулярным слоем, если известно, что удельная поверхность этого адсорбента $S_{уд} = 100 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$, а 90 г его адсорбирует из воздуха 1.3 г паров H_2O .
9. В качестве адсорбента используется порошок со средним диаметром частиц $d = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ и плотностью $\rho = 0.5 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Сколько граммов порошка (m) необходимо взять, чтобы на нем в виде мономолекулярного слоя могло адсорбироваться 5 г N_2 . Площадь, занимаемая молекулой азота на поверхности адсорбента, $S_0 = 16 \text{ Å}^2$.
10. По экспериментальным данным, полученным при изучении адсорбции CO_2 на цеолите при 298 К, рассчитайте константы уравнения Лэнгмюра (a_∞ и K):

$P_{\text{CO}_2} \cdot 10^{-2}, \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$	1.8	2.7	12
$a \cdot 10^3, \text{ моль} \cdot \text{г}^{-1}$	35	45	110

11. Имеется адсорбент, средний радиус частиц которого $r = 10^{-5} \text{ м}$, а плотность $\rho = 2.0 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Сколько граммов H_2S ($m_{\text{H}_2\text{S}}$) может адсорбироваться на 20 г этого порошка, если 0.005 моль газа занимает в предельном случае 500 м^2 поверхности этого адсорбента (с образованием мономолекулярного слоя)?

1.4. Полимолекулярная адсорбция на твердых адсорбентах

1. Какие теории используют для описания полимолекулярной адсорбции газов и паров различных веществ на твердых адсорбентах? Назовите основные положения этих теорий.

2. Графическим методом определить адсорбционную емкость насыщенного монослоя (a_{∞} , моль·кг⁻¹) и константу (K , кг·моль⁻¹) в уравнении БЭТ, описывающем адсорбцию паров бензола на твердом адсорбенте, по следующим экспериментальным данным:

P/P_s	0.08	0.14	0.20	0.27	0.35	0.46
$a \cdot 10^3$, моль·кг ⁻¹	34.8	47.2	56.8	66.3	79.3	101.0

3. Адсорбция азота при $T = 77$ К на твердом адсорбенте является полимолекулярной и описывается уравнением БЭТ. Пользуясь экспериментальными данными

P/P_s	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
$a \cdot 10$, м ³ ·кг ⁻¹	0.85	1.10	1.17	1.32	1.45	1.55

графическим методом определить адсорбционную емкость насыщенного монослоя (a_{∞} , м³·кг⁻¹). Рассчитать удельную поверхность ($S_{уд}$) твердого адсорбента, если площадь, занимаемая одной молекулой азота в поверхностном слое, $S_0 = 16.2 \cdot 10^{-20}$ м² (объем адсорбированного газа приведен к нормальным условиям). При расчете $S_{уд}$ перевести a_{∞} (м³·кг⁻¹) в a_{∞} (моль·кг⁻¹).

4. По экспериментальным данным, полученным при изучении адсорбции паров воды на активированном угле при $T = 293$ К построить изотерму капиллярной конденсации:

P/P_s	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.98
$a_{адс} \cdot 10^3$, моль·кг ⁻¹	2.5	3.9	5.7	7.3	9.8	12.5	13.4
$a_{дес} \cdot 10^3$, моль·кг ⁻¹	2.5	5.3	8.7	10.5	12.2	12.8	13.4

Используя уравнение Томсона (Кельвина) для вогнутой поверхности, рассчитать при каком давлении паров воды (P , атм) происходит заполнение конденсатом пор с радиусом $r = 3 \cdot 10^{-6}$ м, если молярный объем жидкого адсорбата $V_M = 18 \cdot 10^{-3}$ м³·моль⁻¹, поверхностное натяжение воды $\sigma_0 = 72.5 \cdot 10^{-3}$ Дж·м⁻², давление насыщенного пара $P_s = 0.023$ атм при $T = 293$ К.

5. Построить изотерму капиллярной конденсации по экспериментальным данным адсорбции паров метилового спирта на активированном угле при $T = 293 \text{ K}$:

P/P_S	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0
$a_{\text{адс}} \cdot 10^3, \text{ моль} \cdot \text{кг}^{-1}$	12.2	18.3	24.2	32.1	37.5	46.2	57.2
$a_{\text{дес}} \cdot 10^3, \text{ моль} \cdot \text{кг}^{-1}$	12.2	18.3	28.4	43.0	47.4	52.3	57.2

Используя уравнение Томсона (Кельвина) для вогнутой поверхности и величины: $\sigma_0 = 22.6 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$, $V_M = 0.0406 \text{ м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$, $P_S = 0.12 \text{ атм}$, определить радиус пор (r), которые заполняются при $P = 0.08 \text{ атм}$. С помощью кривой десорбции установить объем конденсата в порах ($V, \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$) при том же давлении из расчета на 1 кг пористого адсорбента.

6. Адсорбция паров бензола на активированном угле при $T = 293 \text{ K}$ описывается уравнением Дубинина – Радushкевича, в котором параметр $n = 2$. Используя экспериментальные данные, приведенные в таблице, построить график в координатах $\ln a = f[\ln(P_S/P)]^2$. По отрезку, отсекаемому прямой на оси ординат, определить максимальную адсорбцию a_{max} и рассчитать предельный адсорбционный объем V_{max} этого адсорбента. Молярный объем жидкого бензола при данной температуре $V_M = 88.7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$.

P/P_S	0.34	0.69	1.21	1.83	2.82	5.75
$a, \text{ моль} \cdot \text{кг}^{-1}$	1.15	1.41	1.66	1.82	2.02	2.34

7. По экспериментальным данным, полученным при изучении адсорбции паров бензола на активированном угле построить график в координатах $\ln a = f[\ln(P_S/P)]^2$. По тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс определить характеристическую энергию адсорбции (E) при $T = 298 \text{ K}$.

P/P_S	$5.71 \cdot 10^{-5}$	$1.80 \cdot 10^{-4}$	$6.88 \cdot 10^{-4}$	$3.55 \cdot 10^{-3}$	$1.00 \cdot 10^{-2}$
$a, \text{ моль} \cdot \text{кг}^{-1}$	1.10	1.35	1.62	1.99	2.18

8. Предельный адсорбционный объем активированного угля $V_{\max} = 0.240 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$, характеристическая энергия адсорбции $E = 2.56 \cdot 10^4 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1}$ при $T = 298 \text{ К}$, молярный объем жидкого бензола при данной температуре $V_M = 89.2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$. Используя уравнение Дубинина – Радushкевича, в котором параметр $n = 2$, определить величину адсорбции паров бензола (a) на данном адсорбенте при $P/P_S = 1.63 \cdot 10^{-2}$.
9. Используя экспериментальные данные, приведенные в таблице, рассчитать величины адсорбционных потенциалов (ϵ), соответствующие им объемы жидкого адсорбата (V) при $T = 293 \text{ К}$ и построить характеристическую кривую $\epsilon = f(V)$. Молярный объем жидкого бензола при данной температуре $V_M = 88.7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$.

P/P_S	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.70
$a, \text{ моль} \cdot \text{кг}^{-1}$	0.20	0.40	0.57	0.65	0.70	1.35

10. При изучении полимолекулярной адсорбции паров бензола на активированном угле были получены следующие экспериментальные данные:

$\epsilon \cdot 10^{-3}, \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1}$	7.30	5.61	3.92	2.93	2.23	1.69	0.87
$V \cdot 10^6, \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$	17.74	35.48	50.33	57.65	62.09	75.39	119.75

Используя значение коэффициента аффинности

$$\beta = \frac{\epsilon_{\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3}}{\epsilon_{\text{C}_6\text{H}_6}} = 1.24 \text{ для данного адсорбента и данные, приведенные}$$

в таблице, рассчитать значения адсорбционного потенциала (ϵ) для паров толуола. Построить потенциальные характеристические кривые адсорбции в координатах $\epsilon = f(V)$ для бензола и толуола.

11. Построить изотерму полимолекулярной адсорбции паров толуола в координатах $a = f\left(\frac{P}{P_S}\right)$ на активированном угле при $T = 333 \text{ К}$, используя для расчета значений a и P/P_S приведенные в таблице величины ϵ и V . Молярный объем жидкого толуола $V_M = 110.9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$ при $T = 333 \text{ К}$.

$\varepsilon \cdot 10^{-3}, \text{Дж} \cdot \text{моль}^{-1}$	9.05	6.96	4.86	3.63	2.77	2.03	1.08
$V \cdot 10^6, \text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$	17.74	35.48	50.33	57.65	62.09	75.39	119.75

1.5. Адгезия. Смачивание. Капиллярные явления

1. Что называется адгезией? В чем отличие адгезионного и когезионного взаимодействий?
2. Дать определение поверхностному явлению «смачивание». Что является количественной характеристикой смачивания?
3. Показать взаимосвязь между адгезией и способностью жидкости смачивать твердую поверхность. В чем состоит различие между явлениями адгезии и смачивания?
4. Что такое «гидрофобизация» и «гидрофилизация» поверхности? Объяснить механизм этих явлений.
5. Чему равно поверхностное натяжение жидкости при 290 К, если она поднимается на 3.8 см в стеклянной трубке радиусом $r = 0.2 \text{ мм}$? Плотность жидкости $\rho = 0.88 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Краевой угол смачивания $\Theta = 15^\circ$.
6. Поверхностное натяжение метилового спирта при 20°C $\sigma = 22.61 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$, плотность $\rho = 0.79 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. На какую высоту поднимется спирт в стеклянных капиллярах радиусами 0.01 мм, 0.1 мм и 0.2 мм? (Принять краевой угол смачивания приблизительно равным нулю, $\Theta = 0^\circ$.)
7. Рассчитать работу адгезии ($A_{\text{адг}}$) ртути к стеклу при 293 К, если известен краевой угол смачивания $\Theta = 130^\circ$. Поверхностное натяжение $\sigma_{\text{ртуть-воздух}} = 475 \text{ мДж} \cdot \text{м}^{-2}$. Чему равна работа когезии ($A_{\text{ког}}$) ртути?
8. Определить величину краевого угла смачивания (Θ) поверхности кварцевого стекла бензолом при 25°C , исходя из межфазных поверхностных натяжений:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{бензол-воздух}} &= 28.2 \text{ мДж} \cdot \text{м}^{-2}, \\ \sigma_{\text{кв.стекло-воздух}} &= 740 \text{ мДж} \cdot \text{м}^{-2}, \\ \sigma_{\text{кв.стекло-бензол}} &= 746 \text{ мДж} \cdot \text{м}^{-2}.\end{aligned}$$

9. На поверхность ртути нанесли водный раствор уксусной кислоты. Краевой угол смачивания $\Theta = 78^\circ$. Определить поверхностное на-

тяжение на границе раздела фаз «ртуть – раствор», если $\sigma_{\text{ртуть-воздух}} = 475 \text{ мДж}\cdot\text{м}^{-2}$ и $\sigma_{\text{раствор-воздух}} = 30.3 \text{ мДж}\cdot\text{м}^{-2}$.

10. Получены экспериментальные данные о зависимости величины краевого угла смачивания (Θ) твердой поверхности водным раствором ПАВ от его концентрации ($c_{\text{ПАВ}}$) водного раствора истинного ПАВ:

$c_{\text{ПАВ}}, \text{ ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	2	5	10
Θ , градусы	106	105	96	72	60	0	0

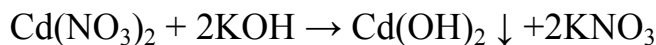
Построить изотерму смачивания в координатах $\cos\Theta = f(\ln c_{\text{ПАВ}})$, определить точку инверсии смачивания ($\cos\Theta \approx 0^\circ$)

11. Рассчитать работу адгезии ($A_{\text{адг}}$) для воды, глицерина, трикрезилфосфата и бензола, смачивающих фторопласт, если поверхностные натяжения этих веществ (σ) на границе с воздухом соответственно равны 71.96, 63.2, 40.9 и 28.9 мДж·м⁻². Краевые углы смачивания (Θ) фторопласта этими жидкостями составляют 108, 100, 75 и 46°.
12. Жидкость, имеющая на границе с воздухом поверхностное натяжение $\sigma = 62 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}$, поднимается в капилляре на высоту 15 мм. Плотность жидкости $\rho = 0.998 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$, краевой угол смачивания $\Theta = 20^\circ$. Рассчитать диаметр капилляра (d).
13. Рассчитать, на какую высоту (h) при $T = 293 \text{ К}$ поднимется вода ($\sigma_0 = 72.75 \text{ мДж}\cdot\text{м}^{-2}$, $\rho_0 = 0.998 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$) в каждом капилляре: $r_1 = 0.1 \text{ мм}$, $r_2 = 1 \text{ мкм}$, $r_3 = 0.01 \text{ мкм}$. Краевой угол смачивания принять равным нулю ($\Theta = 0^\circ$).
14. Какова разность между уровнями жидкости в двух капиллярах с диаметрами $d_1 = 0.1$ и $d_2 = 0.3 \text{ мм}$, опущенных в воду при $T = 293 \text{ К}$ ($\sigma_0 = 72.75 \text{ мДж}\cdot\text{м}^{-2}$, $\rho_0 = 0.998 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$)? Как изменится разность между уровнями воды в капиллярах, если температуру воды повысить до $T = 343 \text{ К}$ ($\sigma_0 = 64 \text{ мДж}\cdot\text{м}^{-2}$, $\rho_0 = 0.978 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$). Краевые углы смачивания принять равными нулю ($\Theta = 0^\circ$).

II. ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

2.1. Получение и строение гидрозолей. Коагуляция

1. Какие дисперсные системы называются: *золь*, *лиоколь*, *гидрозоль*? (Дайте характеристику гидрозолю, используя все типы классификации дисперсных систем.)
2. На чем основан *метод химической конденсации* получения гидрозолей? Приведите примеры химических реакций (обмена и гидролиза) в результате которых можно получить гидрозоль $\text{Fe}(\text{OH})_3$.
3. Объясните, почему в процессе химической конденсации необходим избыток одного из участников реакции и какую роль он выполняет? Какие ионы в растворе могут выступать в качестве: а) потенциалопределяющих, б) противоионов?
4. При длительном стоянии сероводородной воды в результате окисления H_2S кислородом воздуха образуется сера в коллоидном состоянии. Написать формулу структурной единицы дисперсной фазы гидрозоля серы (СЕГ) и определить знак заряда ее коллоидных частиц. Каким методом получен золь?
5. Золь получен по реакции:



в присутствии избытка щелочи. Запишите формулу структурной единицы дисперсной фазы гидрозоля и назовите все её составляющие.

6. Запишите строение коллоидной частицы гидрозоля PbS , стабилизированного $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.
7. Напишите формулу СЕГ, полученного при сливании растворов:
 - а) 15 см^3 0.008 М $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ и 25 см^3 0.005 М NaOH ;
 - б) 20 см^3 0.005 М CuCl_2 и 10 см^3 0.008 М Na_2S ;
 - в) 50 см^3 0.006 М KOH и 30 см^3 0.003 М AlCl_3 .
8. Что такое *коагуляция* гидрозолей? Назовите причины, вызывающие коагуляцию. Дайте определение понятию *порог коагуляции* (γ).
9. Для коагуляции 20 см^3 гидрозоля BaCO_3 , стабилизированного Na_2CO_3 , добавили 3 см^3 0.1 М раствора KCl . Рассчитайте порог коагуляции (γ) и определите ион-коагулятор.

10. Какой объем 0.02 М раствора $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ потребуется для коагуляции 3 л гидрозоля CuCl , стабилизированного NaCl , если порог коагуляции золя для этого электролита составляет $\gamma_{\text{Al}(\text{NO}_3)_3} = 6.2 \cdot 10^{-5}$ моль·л⁻¹? Назовите величину порога коагуляции для электролита KNO_3 и объясните, каким правилом вы пользовались.
11. Порог коагуляции гидрозоля AgCl (стабилизатор KCl) может принимать следующие значения: а) 0.3 моль·л⁻¹; б) 0.03 моль·л⁻¹; в) 0.003 моль·л⁻¹. Объясните, какому из электролитов – $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, AlCl_3 , NaNO_3 , $\text{Mg}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ – соответствует каждое значение порога.
12. Для коагуляции 20 см³ гидрозоля потребовалось 4 см³ 0.1 М раствора NiCl_2 , а на коагуляцию 100 см³ того же золя – 20 см³ 1 М раствора Na_2S . Определите ионы-коагуляторы и напишите формулу СЕГ, самостоятельно выбрав стабилизатор (Na_2SO_4 или $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$), если известно, что компактным агрегатом является BaSO_4 .
13. На коагуляцию гидрозоля $\text{Fe}(\text{OH})_3$, стабилизированного FeCl_3 , потребовалось 5 см³ 0.002 М раствора K_2SO_4 . Рассчитайте объем гидрозоля, который был взят, если известно, что порог коагуляции этого же золя для электролита BaCl_2 составляет $\gamma_{\text{BaCl}_2} = 5$ ммоль·л⁻¹. Каким правилом вы пользовались?
14. Коагуляция 60 см³ гидрозоля AlPO_4 , стабилизированного AlCl_3 , произошла при добавлении 10 см³ 0.015 М раствора K_2SO_4 . Определите, какой объем электролита потребуется для коагуляции того же объема данного гидрозоля, если в качестве коагулятора использовать 0.01 М раствор $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.

2.2. Молекулярно-кинетические свойства. Седиментационно-диффузионное равновесие

1. Для каких дисперсных систем характерны молекулярно-кинетические свойства: броуновское движение, диффузия, осмотическое давление?
2. Каким соотношением описывается связь между средним сдвигом частицы дисперсной фазы ($\bar{\Delta}$) и ее коэффициентом диффузии (D)? От каких параметров зависит величина коэффициента диффузии частиц дисперсных фаз зольей?

3. Как зависит величина осмотического давления от степени дисперсности золя?
4. В каких дисперсных системах устанавливается диффузионно-седиментационное равновесие и соблюдается гипсометрический закон (закон распределения частиц дисперсной фазы по высоте)?
5. Удельная поверхность сферических частиц дисперсной фазы гидрозоля оксида кремния $S_{уд} = 1.1 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$. Плотность частиц дисперсной фазы $\rho = 2.7 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, вязкость дисперсионной среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$ при температуре 293 К. Определить средний сдвиг $\bar{\Delta}$ частицы дисперсной фазы гидрозоля за промежуток времени $\tau = 4 \text{ с}$.
6. Средний сдвиг $\bar{\Delta}$ частицы дисперсной фазы гидрозоля за время $\tau = 4 \text{ с}$ равен $3.85 \cdot 10^{-5} \text{ м}$. Вязкость дисперсионной среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$, плотность частиц дисперсной фазы гидрозоля $\rho = 2.1 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ при температуре $T = 293 \text{ К}$. Определить удельную поверхность ($S_{уд}$) сферических частиц дисперсной фазы данного гидрозоля.
7. Рассчитать средний сдвиг частицы ($\bar{\Delta}$) дисперсной фазы гидрозоля за время $\tau = 5 \text{ с}$ и ее радиус (r), если коэффициент диффузии $D = 21.3 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Вязкость дисперсионной среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$ при температуре $T = 293 \text{ К}$.
8. Определить частичную концентрацию (v , $\text{частиц} \cdot \text{м}^{-3}$) гидрозоля Al_2O_3 , используя следующие данные: концентрация дисперсной фазы гидрозоля $c = 0.2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, ее плотность $\rho = 3 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, вязкость дисперсионной среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$ при температуре 293 К. Коэффициент диффузии сферических частиц данного гидрозоля составляет $D = 2.5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{сут}^{-1}$.
9. Для частиц дисперсной фазы золя золота с радиусом $r = 1 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ коэффициент диффузии в воде $D = 1.84 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{сут}^{-1}$. Рассчитать коэффициент диффузии для частиц золя золота, которые имеют радиус $r = 0.5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ($T = 293 \text{ К}$).
10. Рассчитать коэффициент диффузии (D) и средний сдвиг ($\bar{\Delta}$) частицы дисперсной фазы аэрозоля за время $\tau = 15 \text{ с}$ при температуре $T = 298 \text{ К}$, если радиус частиц дисперсной фазы $r = 10^{-8} \text{ м}$, вязкость дисперсионной среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

11. Рассчитать осмотическое давление (π) гидрозоля SiO_2 , если 10^{-3} м^3 дисперсной системы содержат $3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ дисперсной фазы. Удельная поверхность частиц дисперсной фазы гидрозоля $S_{\text{уд}} = 2.7 \cdot 10^5 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$, их плотность $\rho = 2.2 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ при температуре $T = 298 \text{ К}$.
12. Рассчитать осмотическое давление (π) гидрозоля со сферической формой частиц дисперсной фазы, если концентрация дисперсной фазы $c = 7 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Дисперсность данного гидрозоля $D = 6 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$, плотность вещества дисперсной фазы $\rho = 2.1 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ при температуре $T = 298 \text{ К}$.
13. Концентрация дисперсной фазы гидрозоля As_2S_3 $c = 8.4 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, объем сферической частицы гидрозоля $V = 4.19 \cdot 10^{-24} \text{ м}^3$, плотность вещества дисперсной фазы $\rho = 2.8 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ при температуре $T = 298 \text{ К}$. Определить осмотическое давление данного гидрозоля (π).
14. Осмотическое давление (π) гидрозоля золота с концентрацией дисперсной фазы $c = 3.2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ равно 4.2 Па при 293 К . Рассчитать коэффициент диффузии (D) сферических частиц данного гидрозоля, если их плотность $\rho = 19.3 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, вязкость дисперсионной среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ при температуре $T = 298 \text{ К}$.
15. Используя уравнение седиментационно-диффузионного равновесия, определить высоту (h), на которой частичная концентрация (v_h) дисперсной фазы гидрозоля SiO_2 с радиусом частиц $r = 2 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ станет вдвое меньше первоначальной (v_0). Плотность частиц дисперсной фазы гидрозоля $\rho = 2.1 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, плотность воды $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ при температуре $T = 293 \text{ К}$.
16. Определить, во сколько раз уменьшится частичная концентрация дисперсной фазы аэрозоля на высоте $h = 0.12 \text{ м}$ (v_h) по сравнению с первоначальной (v_0) в процессе оседания частиц. Радиус частиц дисперсной фазы аэрозоля $r = 1 \cdot 10^{-8} \text{ м}$, их плотность $\rho = 1.2 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ при $T = 298 \text{ К}$. Плотностью воздуха можно пренебречь ($\rho_0 = 0$).
17. Определить радиус (r) частиц дисперсной фазы гидрозоля, если известно, что в процессе оседания концентрация частиц на высоте $h = 0.15 \text{ м}$ (v_h) уменьшилась в 2.7 раза относительно первоначальной (v_0). Плотность сферических частиц дисперсной фазы гидро-

золя $\rho = 4 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, плотность воды $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ при температуре $T = 293 \text{ К}$.

18. Определить удельную поверхность ($S_{\text{уд}}$) частиц дисперсной фазы гидрозоля селена, если частичная концентрация гидрозоля на высоте $h = 0.08 \text{ м}$ (v_h) уменьшилась в 2.2 раза по сравнению с первоначальной (v_0). Плотность сферических частиц дисперсной фазы данного гидрозоля $\rho = 4.8 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, плотность дисперсионной среды $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ при температуре $T = 293 \text{ К}$.

2.3. Седиментация и седиментационный анализ дисперсных систем

1. Для каких дисперсных систем применяется седиментационный анализ?
2. Объяснить физический смысл величин, входящих в уравнение Стокса, описывающее скорость седиментации. Как можно управлять скоростью седиментации?
3. Что такое константа седиментации и от чего она зависит?
4. Вычислить время, которое потребуется для оседания частиц монодисперсной суспензии в водной среде под действием силы тяжести на глубину $H = 0.2 \text{ м}$ (расстояние от поверхности жидкости до чашечки весов). Плотность частиц $\rho = 2.7 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, их радиус $r = 10^{-6} \text{ м}$, вязкость воды $\eta = 1.15 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$, плотность воды $\rho_0 = 0.9 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, $T = 288 \text{ К}$.
5. Радиус частиц дисперсной фазы монодисперсной водной суспензии $r = 1.4 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, плотность $\rho = 2.1 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, время их полного оседания в воде на чашечку весов $\tau = 8 \text{ мин}$. Определить глубину оседания (H) частиц суспензии, если плотность воды $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, вязкость воды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$, $T = 293 \text{ К}$.
6. Определить радиус (r) частиц дисперсной фазы суспензии кварца в водной среде, используя данные седиментационного анализа при $T = 298 \text{ К}$: глубина оседания частиц $H = 0.1 \text{ м}$ (расстояние от поверхности жидкости до чашечки весов), время полного оседания частиц $\tau = 2 \text{ ч}$, плотность кварца $\rho = 2.65 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, плотность воды $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, вязкость воды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

7. Рассчитать удельную поверхность ($S_{уд}$) сферических частиц монодисперсной водной суспензии, если глубина их оседания под действием силы тяжести $H = 0.2$ м, а время полного оседания $\tau = 1200$ с. Плотность вещества дисперсной фазы суспензии $\rho = 2.5 \cdot 10^3$ кг·м⁻³, плотность воды $\rho_0 = 1 \cdot 10^3$ кг·м⁻³, вязкость воды $\eta_0 = 1 \cdot 10^{-3}$ Па·с при $T = 293$ К.
8. Определить время (τ), за которое все сферические частицы монодисперсной суспензии Al_2O_3 в водной среде осядут под действием силы тяжести на глубину $H = 0.1$ м (расстояние от поверхности жидкости до чашечки весов). Удельная поверхность частиц дисперсной фазы $S_{уд} = 3.75 \cdot 10^5$ м⁻¹, плотность $\rho = 2 \cdot 10^3$ кг·м⁻³, плотность воды $\rho_0 = 1 \cdot 10^3$ кг·м⁻³, вязкость воды $\eta_0 = 1 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $T = 293$ К.
9. Вычислить время (τ), за которое все сферические частицы стекла с плотностью $\rho = 2.5 \cdot 10^3$ кг·м⁻³ осядут в воде под действием силы тяжести на глубину $H = 0.1$ м. Дисперсность частиц стекла $D = 0.1 \cdot 10^7$ м⁻¹, плотность воды $\rho_0 = 1 \cdot 10^3$ кг·м⁻³, вязкость воды $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $T = 293$ К.
10. Построить седиментационную кривую $P = f(t)$ по результатам седиментационного анализа бентонитовой глины в водном растворе уксусной кислоты:

t, мин	0.5	1	2	3	5	7	9	12	15
P, мг	9	12	16	20	26	30	33	35	35

Рассчитать вес полностью осевшей фракции (P^0 , мг) за время $t = 4$ мин и минимальный радиус частиц данной фракции (r_{min} , мкм), если глубина оседания частиц глины $H = 0.093$ м (расстояние от поверхности суспензии до чашечки весов), вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Па·с, плотность среды $\rho_0 = 1.1 \cdot 10^3$ кг·м⁻³, а плотность глины $\rho = 2.76 \cdot 10^3$ кг·м⁻³.

11. По экспериментально полученным данным седиментационного анализа суспензии мела в воде

t, мин	0.5	1	2	4	6	8	12	16	20	24
P, мг	8	11	16	21	26	29	34	38	40	40

построить седиментационную кривую $P = f(t)$. Рассчитать время, за которое полностью осядет фракция с минимальным радиусом частиц $r_{\min} = 10$ мкм. Определить по графику вес этой фракции (P^0 , мг), если глубина оседания частиц $H = 0.09$ м, вязкость среды $\eta = 10^{-3}$ Па·с, плотность среды $\rho_0 = 1 \cdot 10^3$ кг·м⁻³, а плотность частиц $\rho = 2.83 \cdot 10^3$ кг·м⁻³.

2.4. Электрокинетические свойства

1. Назовите прямые и обратные электрокинетические явления. На чем основано такое разделение?
2. Дайте определение электрофорезу и электроосмосу. Напишите уравнения, используемые для вычисления электрокинетического потенциала (ξ).
3. Что такое «потенциал седиментации» и «потенциал протекания»? Как связаны их величины с электрокинетическим потенциалом?
4. Вычислить величину электрокинетического потенциала (ξ) для гидрозоля оксида алюминия Al_2O_3 в воде, если электрофорез его протекал при напряжении на электродах $E = 240$ В и перемещение границы «золь – контактная жидкость» составило $L = 3.5$ см за 20 мин? Вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Н·с·м⁻², относительная диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon = 80$. Расстояние между электродами $L = 2$ см.
5. Частицы «белого» золя бутадиенстирольного латекса в водной среде имеют электрокинетический потенциал $\xi = -32.3$ мВ. На какое расстояние (L) и к какому электроду они переместятся за $\tau = 40$ мин при напряженности электрического поля $H = 440$ В·м⁻¹? Относительная диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon = 80.1$, вязкость среды $\eta = 0.89 \cdot 10^{-3}$ Н·с·м⁻².
6. Определить скорость (v) и направление движения пузырьков воздуха в среде с вязкостью $\eta = 1.2 \cdot 10^{-3}$ Н·с·м⁻² и относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 81$, если напряжённость электрического поля $H = 120$ В·м⁻¹, а электрокинетический потенциал на границе «воздух – среда» $\xi = -48$ мВ.

7. Определить величину ξ -потенциала на границе раздела фаз «керамический фильтр – водный раствор хлорида калия», если процесс электроосмоса в данной системе характеризовался следующими параметрами: объемная скорость электроосмоса $v_{об} = 0.03 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, удельная электропроводность раствора $\kappa = 1.8 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, вязкость раствора $\eta = 0.95 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$, сила тока $I = 1.6 \cdot 10^{-2} \text{ А}$, относительная диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon = 79.9$.
8. Чему равна сила тока (I) при электроосмосе, если объемная скорость движения жидкости через кварцевую мембрану $v_{об} = 6.1 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$? Удельная электропроводность среды $\kappa = 16.3 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, вязкость $\eta = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$, относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$, а величина электрокинетического потенциала $\xi = 16 \cdot 10^{-3} \text{ В}$.
9. Рассчитать объем раствора электролита, перенесенного через мембрану из полистирола за $\tau = 60$ мин в результате электроосмоса, если при силе тока $I = 2 \cdot 10^{-2} \text{ А}$ электрокинетический потенциал на границе «мембрана – раствор» $\xi = 12 \cdot 10^{-3} \text{ В}$, вязкость раствора $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$, удельная электропроводность $\kappa = 8 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, относительная диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon = 80$.
10. Рассчитать потенциал течения ($E_T, \text{ В}$), возникающий при продавливании водного раствора хлорида калия через пористую перегородку под давлением $P = 4 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$, если электрокинетический потенциал $\xi = 66 \cdot 10^{-3} \text{ В}$, вязкость среды $\eta = 1.09 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$, удельная электропроводность среды $\kappa = 1.38 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$.
11. Под каким давлением ($P, \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$) необходимо продавливать этиловый спирт через корундовую диафрагму, чтобы потенциал течения составил $E_T = 6.2 \cdot 10^{-3} \text{ В}$? Электрокинетический потенциал на границе раздела фаз $\xi = 35 \cdot 10^{-3} \text{ В}$, параметры среды: удельная электропроводность $\kappa = 1.1 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, вязкость $\eta = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$, относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 25$.
12. Рассчитать потенциал седиментации ($E_{сед}, \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$) частиц каолиновой водной суспензии, если известно, что их объемная доля составляет $\phi = 0.16$, плотность $\rho = 3.4 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, а электрокинетический потенциал $\xi = 40 \cdot 10^{-3} \text{ В}$. Плотность среды, в которой оседают частицы, $\rho_0 = 1.2 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, вязкость $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$, удельная

электропроводность $\kappa = 1.3 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, диэлектрическая проницаемость среды $\varepsilon = 79.2$.

13. Потенциал седиментации бентонитовой глины $E_{\text{сед}} = 34 \cdot 10^{-3} \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$. Вычислить электрокинетический потенциал (ξ) частиц, если известно, что их объемная доля в суспензии $\phi = 0.3$, а плотность частиц $\rho = 3.6 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$? Для получения суспензии в качестве среды использовали водный раствор хлорида натрия, имеющий удельную электропроводность $\kappa = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, относительную диэлектрическую проницаемость $\varepsilon = 80.2$, вязкость $\eta = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$, плотность $\rho_0 = 1.2 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

2.5. Оптические свойства

1. Какие оптические свойства характерны для дисперсных систем?
2. Какое оптическое явление описывается уравнением Рэлея? Назовите условия применимости данного уравнения.
3. Перечислите методы дисперсионного анализа, основанные на оптических свойствах дисперсных систем. Какие оптические явления лежат в основе каждого из них?
4. В каком случае интенсивность света, рассеянного одним и тем же «белым» гидрозоле ($I_{\text{рас}}$), будет больше и во сколько раз, если интенсивность падающего света (I_0) одинакова? Длина волны падающего света $\lambda_1 = 780 \text{ нм}$ и $\lambda_2 = 400 \text{ нм}$. Светорассеяние происходит в соответствии с уравнением Рэлея ($n_0, n, \nu, V = \text{const}$ в обоих случаях).
5. Используя уравнение Рэлея, сравните интенсивность светорассеяния гидроэмульсий бензола (I_1) и гептана (I_2) («белые» золи) при прочих равных условиях (размер частиц r , частичная концентрация ν , интенсивность падающего света I_0 , длина волны λ). Показатели преломления бензола, гептана и воды равны соответственно: $n_1 = 1.5011$, $n_2 = 1.3876$, $n_0 = 1.3330$.
6. Получены два «белых» гидрозоля канифоли с одинаковой концентрацией дисперсной фазы c , $\text{г} \cdot \text{см}^{-3}$ и различными размерами частиц: $r_1 = 10 \text{ нм}$, $r_2 = 30 \text{ нм}$. Для какого из золь и во сколько раз интенсивность рассеянного света будет больше? Интенсивность падающего света (I_0) и длина его волны (λ) одинаковы?

7. Как изменится интенсивность рассеянного света ($I_{\text{рас}}$) фруктовым соком при изменении длины волны падающего света от $\lambda_1 = 430$ нм до $\lambda_2 = 680$ нм и одинаковой интенсивности падающего света I_0 ?
8. Рассчитать радиус (r) частиц «белого» гидрозоля скипидара, если при длине волны падающего света $\lambda = 540$ нм и толщине кюветы $L = 3$ см измеренная оптическая плотность $D = 0.02$. Показатели преломления скипидара и воды соответственно $n = 1.476$ и $n_0 = 1.333$, плотность скипидара $\rho = 0.86$ г·см⁻³, концентрация дисперсной фазы гидрозоля $c = 4.8 \cdot 10^{-5}$ г·см⁻³. Считать, что светорассеяние описывается уравнением Рэлея.
9. С помощью ультрамикроскопа в видимом объеме $V = 12 \cdot 10^{-9}$ м³ гидрозоля золота подсчитано 5 частиц его дисперсной фазы. Приняв, что форма частиц шарообразная, рассчитать их средний радиус (r). Концентрация золя $c = 30 \cdot 10^{-2}$ кг·м⁻³, плотность вещества дисперсной фазы $\rho = 19.3 \cdot 10^3$ кг·м⁻³.
10. Рассчитать характеристику дисперсности (m) «белого» золя натурального латекса «Ревертекс» по полученной экспериментально зависимости оптической плотности системы D от длины волны падающего света λ :

λ , нм	415	440	480	500	527	580	630	680
D	0.309	0.269	0.199	0.178	0.151	0.112	0.087	0.069

Построить кривую Геллера $m = f(d)$ по следующим данным:

m	3.92	3.64	3.54	3.30	3.23	3.04	2.82	2.72	2.66	2.45	2.36	2.14
d , нм	77.0	88.0	95.0	106.7	111	119	132	139	143	158	167	189

Определить диаметр (d , нм) частиц «белого» золя.

11. Экспериментально получена зависимость мутности (τ) водного раствора коллоидного поверхностно-активного вещества от его массовой доли (ω):

$\omega \cdot 10^2$, мас. %	0.2	0.4	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8
τ , см ⁻¹	0.028	0.030	0.035	0.080	0.26	0.56	0.85	1.18	1.50

Графическим методом определить критическую концентрацию мицеллообразования (ККМ).

12. С помощью метода поточной ультрамикроскопии в объеме $V = 2 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3$ подсчитано 80 частиц аэрозоля – дыма мартеновских печей. Концентрация аэрозоля $c = 10 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, плотность частиц $\rho = 2 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Считая, что частица дисперсной фазы аэрозоля имеет кубическую форму, определить среднюю длину (L) ее ребра.

13. Измеренная на фотоэлектроколориметре при длине волны падающего света $\lambda = 540 \text{ нм}$ и толщине кюветы $L = 2.5 \text{ мм}$ оптическая плотность бурого гидрозоля гидроксида железа (III) ($\omega = 0.08 \text{ мас. \%}$), оказалась равной $D = 0.73$. Определить, какая доля света ($\frac{I_{\text{прош}}}{I_0}$) пройдет через тот же гидрозоль (в %), если

массовая доля вещества дисперсной фазы $\omega = 0.005 \text{ мас. \%}$, а толщина кюветы $L = 30 \text{ мм}$. Считать, что к данным дисперсным системам применим закон Бугера – Ламберта – Бера.

14. Рассчитать значения константы (K_i) в формуле Бугера – Ламберта – Бера для случая прохождения лучей света ($\lambda = 640 \text{ нм}$) через слои L_i (мм) окрашенных гидрозолей мастики с различными значениями ω_i (мас. %), используя следующие экспериментальные данные:

ω_i , мас. %	1.0	0.6	0.2	0.1	0.06	0.02
L_i , мм	2.5	2.5	2.5	5.0	20.0	20.0
$(\frac{I_{\text{прош},i}}{I_0})$, %	11.6	27.0	64.5	65.0	35.2	70.1

Сделать вывод о применимости этой формулы для описания оптических свойств исследуемой системы.

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

Раздел 1.1

2. $N = 4 \cdot 10^{18}$ частиц, $G^S = 250.6$ Дж. 3. $N = 2 \cdot 10^{14}$, $G^S = 2.4$ Дж.
4. $r = 10^{-6}$ м. 5. $\omega = 7.1$ мас. %, $G^S = 0.3$ Дж. 7. $B = 13.48 \cdot 10^{-3}$ Дж·м⁻²,
 $A = 79$ л·моль⁻¹. 10. $g = 0.91$ Дж·л·моль⁻¹·м⁻², $S_0 = 20.0 \cdot 10^{-20}$ м².
11. $B = 19.5 \cdot 10^{-3}$ Дж·м⁻², $A = 46.6$ л·моль⁻¹. 12. $B = 19.5 \cdot 10^{-3}$ Дж·м⁻²,
 $A = 14.8$ л·моль⁻¹ $\sigma = 56.5 \cdot 10^{-3}$ Дж·м⁻². 13. $B = 19.5 \cdot 10^{-3}$ Дж·м⁻²,
 $A_1 = 46.6$ л·моль⁻¹, $A_2 = 148.7$ л·моль⁻¹.

Раздел 1.2

1. Определение σ на границах раздела фаз «твердое – газ», «твердое – жидкость» экспериментально затруднено. 3. $g = 0.402$ Дж·л·моль⁻¹·м⁻²,
 $\Gamma = 2.2 \cdot 10^{-6}$ моль·м⁻². 4. $\Gamma_{0.0156} = 6 \cdot 10^{-6}$ моль·м⁻², $\Gamma_{0.0625} = 8.2 \cdot 10^{-6}$ моль·м⁻².
5. $a_\infty = 5.5 \cdot 10^{-6}$ моль·м⁻², $a_{\text{экс}} = 3.1 \cdot 10^{-6}$ моль·м⁻² ($a_\infty > a_{\text{экс}}$).
6. $\Gamma = -5.9 \cdot 10^{-6}$ моль·м⁻². 7. $m(\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{10}-\text{COONa}) = 0.44 \cdot 10^{-3}$ г.
8. $S_0 = 30$ Å². 9. $S_0 = 28$ Å². 10. $\Gamma = -5.46 \cdot 10^{-6}$ моль·м⁻².
11. $n(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}) = 1.1 \cdot 10^{-7}$ моль.

Раздел 1.3

1. Глина: $S_{\text{уд}} = 3 \cdot 10^4$ м⁻¹ (уголь), $S_{\text{уд}} = 6 \cdot 10^5$ м⁻¹ (глина). 2. Уголь ($\varepsilon_{\text{уголь}} < \varepsilon_{\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}} < \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}}$). 3. $a = 1.75 \cdot 10^{-3}$ моль·г⁻¹. 4. $a_\infty = 1.43$ моль·кг⁻¹,
 $K = 21.4 \cdot 10^2$ л·моль⁻¹. 5. $S_{\text{уд}} = 18.1$ м²·г⁻¹. 6. $m_{\text{силикагель}} = 120$ г.
7. $m_{\text{SO}_2} = 6.2 \cdot 10^{-2}$ г. 8. $S_0 = 20.7$ Å²/молек. 9. $m = 172$ г.
10. $a_\infty = 0.182$ моль·г⁻¹, $K = 1.27 \cdot 10^3$ м²·Н⁻¹. 11. $m_{\text{H}_2\text{O}} = 0.001$ г.

Раздел 1.4

2. $a_\infty = 57.8 \cdot 10^{-3}$ моль·кг⁻¹, $K = 13.3$ кг·моль⁻¹. 3. $a_\infty = 0.11$ м³·кг⁻¹,
 $S_{\text{уд}} = 479 \cdot 10^3$ м²·кг⁻¹. 4. $P = 0.016$ атм. 5. $r = 1.86 \cdot 10^{-6}$ м,
 $V = 0.0017$ м³·кг⁻¹. 6. $V_{\text{max}} = 0.342 \cdot 10^{-3}$ м³·кг⁻¹. 7. $E = 2.56 \cdot 10^4$ Дж·моль⁻¹.
8. $a = 2.29$ моль·кг⁻¹.

Раздел 1.5

5. $\sigma_{\text{ж-г}} = 33.9 \cdot 10^{-3}$ Н·м⁻¹. 6. $h_1 = 58.4$ см, $h_2 = 5.84$ см, $h_3 = 2.92$ см.
7. $A_{\text{адг}} = 170$ мДж·м⁻², $A_{\text{ког}} = 950$ мДж·м⁻². 8. $\Theta = 102^\circ$. 9. $\sigma_{\text{ртуть-раствор}} =$
 $= 468.6$ мДж·м⁻². 10. $C_{\text{инв}} = 0.074$ ммоль·л⁻¹. 11. $A_{\text{адг}}(\text{H}_2\text{O}) = 49.7$ мДж·м⁻²,

$A_{\text{адг}}(\text{глицерин}) = 52.2 \text{ мДж} \cdot \text{м}^{-2}$, $A_{\text{адг}}(\text{трикрезилфосфат}) = 51.5 \text{ мДж} \cdot \text{м}^{-2}$,
 $A_{\text{адг}}(\text{бензол}) = 49.0 \text{ мДж} \cdot \text{м}^{-2}$. 12. $d = 1.58 \text{ мм}$. 13. $h_1 = 14.9 \text{ см}$, $h_2 = 14.9 \text{ м}$, $h_3 = 1.49 \text{ км}$. 14. $\Delta h_1 = 19.8 \text{ см}$, $\Delta h_2 = 17.8 \text{ см}$.

Раздел 2.1

4. $\{[S]_m \text{ n HS}^- (n-x) \text{ H}^+\}^{x-} \times \text{H}^+$. 6. $\{[PbS]_m \text{ n Pb}^{2+} (2n-x) \text{ NO}_3^-\}^{x+} \times \text{NO}_3^-$.
 7. а) $\{[Mg(OH)_2]_m \text{ n Mg}^{2+} (2n-x) \text{ NO}_3^-\}^{x+} \times \text{NO}_3^-$,
 б) $\{[CuS]_m \text{ n Cu}^{2+} (2n-x) \text{ Cl}^-\}^{x+} \times \text{Cl}^-$,
 в) $\{[Al(OH)_3]_m \text{ n OH}^- (n-x) \text{ K}^+\}^{x-} \times \text{K}^+$.
 9. $\gamma = 0.015 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$. 10. $V = 9.3 \cdot 10^{-3} \text{ л}$, $\gamma_{\text{KNO}_3} = 6.2 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$.
 12. Ni^{2+} , Na^+ , $\{[\text{BaSO}_4]_m \text{ n SO}_4^{2-} (2n-x) \text{ Na}^+\}^{x-} \times \text{Na}^+$. 13. $V = 0.02 \text{ л}$.
 14. $V = 0.15 \text{ л}$.

Раздел 2.2

5. $\bar{\Delta} = 41.2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. 6. $S_{\text{уд}} = 1.23 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$. 7. $\bar{\Delta} = 4.61 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, $r = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$.
 8. $\nu = 3.9 \cdot 10^{19} \text{ частиц} \cdot \text{м}^{-3}$. 9. $D = 3.67 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 \cdot \text{сут}^{-1}$. 10. $D = 2.18 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$,
 $\bar{\Delta} = 2.55 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. 11. $\pi = 10.71 \text{ Па}$. 12. $\pi = 5.73 \text{ Па}$. 13. $\pi = 2.96 \text{ Па}$.
 14. $D = 6.45 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. 15. $H = 7.8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. 16. $\nu_0/\nu_h = 4.2 \text{ раза}$. 17. $r = 6.01 \cdot 10^{-9} \text{ м}$. 18. $S_{\text{уд}} = 98.5 \cdot 10^3 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$.

Раздел 2.3

4. $\tau = 6.4 \text{ ч}$. 5. $H = 22.5 \text{ см}$. 6. $r = 1.96 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. 7. $S_{\text{уд}} = 168 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$.
 8. $\tau \approx 12 \text{ мин}$. 9. $\tau = 34 \text{ ч}$. 10. $P^0 = 12.8 \text{ мГ}$, $r_{\text{min}} = 32.9 \text{ мкм}$. 11. $\tau = 226 \text{ с}$,
 $P^0 = 12.5 \text{ мГ}$.

Раздел 2.4

4. $\xi = 89 \text{ мВ}$. 5. $L = 2.7 \cdot 10^{-2} \text{ м}$. 6. $\nu = 2.04 \cdot 10^{-4} \text{ м} \cdot \text{мин}^{-1}$. 7. $\xi = 45 \text{ мВ}$.
 8. $I = 9.5 \cdot 10^{-3} \text{ А}$. 9. $V = 0.76 \text{ мл}$. 10. $E_T = 0.012 \text{ В}$. 11. $P = 105.68 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$.
 12. $E_{\text{сед}} = 0.0074 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$. 13. $\xi = 72 \text{ мВ}$.

Раздел 2.5

4. $I_2:I_1 = 14.46$. 5. $I_1:I_2 = 9.14$. 6. $I_2:I_1 = 27$. 7. $I_1:I_2 = 6.25$. 8. $r = 36 \text{ нм}$.
 9. $r = 20.6 \text{ нм}$. 10. $m = 3.05$, $d = 120 \text{ нм}$. 11. $\text{ККМ} = 0.9 \cdot 10^{-2} \%$.
 12. $L = 2.32 \cdot 10^{-7} \text{ м}$. 13. $I_{\text{прош}}/I_0 = 28.3 \%$. 14. Применим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – М.: Химия, 1989.
2. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1976.
3. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Ю.Г. Фролова. – М.: Химия, 1986.
4. Расчёты и задачи по коллоидной химии / Под ред. В.И. Барановой. – М.: Высшая школа, 1989.
5. Методические указания к лабораторным занятиям по разделу «Свойства лиофобных дисперсных систем». – Минск: БГТУ, 1988.
6. Уласціласці ліяфобных дысперсных сістэм. Метадычны дапаможнік да лабараторных заняткаў па курсах «Калоідная хімія», «Фізічная і калоідная хімія. Фізіка-хімічныя метады аналізу». – Мінск: БДТУ, 1995.
7. Метады атрымання і каагуляцыя калоідных раствораў. Пытанні і задачы для самастойнай работы і кантролю бягучых ведаў студэнтаў. – Мінск: БДТУ, 1997.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
I. Поверхностные явления.....	4
1.1. Поверхностная энергия. Поверхностное натяжение. Поверхностная активность.....	4
1.2. Мономолекулярная адсорбция на границе раздела «жидкость – газ».....	6
1.3. Мономолекулярная адсорбция на твердых адсорбентах.....	8
1.4. Полимолекулярная адсорбция на твердых адсорбентах.....	9
1.5. Адгезия. Смачивание. Капиллярные явления.....	13
II. Дисперсные системы.....	15
2.1. Получение и строение гидрозолей. Коагуляция.....	15
2.2. Молекулярно-кинетические свойства. Седиментационно-диффузионное равновесие.....	16
2.3. Седиментация и седиментационный анализ дисперсных систем.....	19
2.4. Электрокинетические свойства.....	21
2.5. Оптические свойства.....	23
Ответы к задачам.....	26
Литература.....	28